



Tecnologias de Redes de Comunicações

2006/2007

As tecnologias xDSL

Fernando M. Silva

Fernando.Silva@ist.utl.pt

Instituto Superior Técnico

Sumário

- Introdução
- Tecnologias de par metálico
- Classificação das tecnologias de par metálico

Tecnologias DSL

- DSL - Digital Subscriber Line
- Objectivo
 - Possibilitar larguras de banda elevadas usando de pares de cobre
 - Permitir a utilização da extensa base de cobre existente
 - Resolver o problema da *last mile* (chegar aos consumidores finais, domésticos e empresariais) usando infraestruturas existentes e dispensando a instalação de novas infra-estruturas caras (sobretudo na fase de instalação)

xDSL - Definição

- De um modo geral, deigna,-se por DSL (*Digital Subscriber Line*) as tecnologias de transmissão digital na linha do assinante entre o equipamento terminal e a central.
- Suportadas em par de cobre entrançado
- Permitem débitos elevados aos consumidores domésticos com reduzido investimento em infra-estruturas.
- Com o progressivo crescimento das larguras de banda oferecidas ao utilizador final, as tecnologias xDSL, embora inicialmente pensadas para as ligações dados do consumidor doméstico, estão também a estender-se às filosofias "triple-play" (voz, dados e TV sobre um canal único).

História

- Origem na década de 60 nos Bell Labs,
- Objectivos
 - Digitalização das redes telefónicas (finais da década de 70/década de 80)
 - A tecnologia tinha como objectivo interligar sobretudo centrais com sinais, possibilitando ligações digitais de alto desempenho usando a ampla infraestrutura de cobre existente.
- DS1 (Digital Signal 1 ou T1) é um sistema de sinalização desenvolvido nos Bell Labs para ligação de dados a "alta" velocidade sobre par de cobre (1,544 Mbit/seg).
 - Nota: formalmente DS1 é um protocolo usado sobre uma ligação física T1.

T1 e E1

- Na Europa, o ETSI definiu uma interface ligeiramente diferente (e com maior débito) designada por E1.
- T1 e E1 foram durante muitos anos (e ainda são) a forma preferencial de interligar centrais digitais de operadores ou centrais de operadores e centrais de grandes clientes.
- Na Europa, a interface E1 em voz suporta 30 canais de voz a 64Kbit/seg (além de dois adicionais para sincronização e sinalização).
- Estas interfaces foram ainda usadas para a ligação de redes de dados empresariais à dorsal (*backbone*) de operadores em larguras de banda múltiplas de 2Mbits/s.

Generalização das tecnologias xDSL

- Inicialmente, as interfaces T1 e E1 não eram usadas para a ligação doméstica por dois motivos:
 - Eram geradoras de interferências que afectavam equipamentos domésticos
 - Exigiam a instalação de repetidores a cada 1100 metros, o que as tornava pouco práticas e caras.
- A necessidade de encontrar alternativas para os convencionais modems analógicos, cuja largura de banda sobre canal telefónico estava limitada a 64Kbit/seg, levou à introdução de várias variantes de DSL que, conjuntamente, vieram a ser conhecidas por xDSL.
- As novas variantes de xDSL tiveram origem nos Bell Labs na década de 80, apesar da sua generalização, sobretudo no mercado doméstico, só tenha acontecido a partir do final da década de 90.

Tecnologias xDSL

- HDB3 e T1/E1
- ISDN e IDSL
ISDN - Integrated Services Digital Network
IDSL ISDN Digital Subscriber Line
- HDSL
High Data rate Digital Subscriber Line
- ADSL, UDSL/ADSL Lite, ADSL2, ADSL2+
ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
UDSL - Unsplitted Digital Subscriber Line
- SHDSL / SDSL
Symmetric High Bit Digital Subscriber Loop
- VDSL, VDLS2
Very High Data Rate Digital Subscriber Line

HDB3 e T1/E1

- As interfaces T1/E1 são as mais antigas e encontram-se ainda em exploração
- T1 (USA e Canadá)
 - 1,544Mbit/seg
 - 24 canais de 64Kbit/seg (DS0). O conjunto forma um canal DS1.
 - Alcance de cerca de 800 metros em cabo AWG 26
 - * AWG é uma especificação americana de cabos de cobre e 26 refere o calibre (cerca de 0,4 mm de diâmetro) e tem associada uma dada resistividade e indutância.
 - E1 (Europa)
 - * 2,048Mbit/seg
 - * 30 canais 64Kbit/s
 - * 1 slot (equivalente a 64Kbit/seg) usado para sinalização
 - * 1 slot (equivalente a 64Kbit/seg) usado para sincronização
 - * Alcance de 1Km em cabo de 0,4mm.
- Problemas, alcance reduzido, elevado ruído resultante da codificação usada (AMI)
- Substituição por HDSL e SDLS

ISDN / IDSL

- ISDN (RDIS) foi a primeira interface digital doméstica
 - Estruturada em dois canais B de 64Kbit/s e um canal D de controlo de 16Kbit/s, gerando um total de 144Kbit/s
 - Códigos de linha:
 - * 4B3T - 4 (four) Binary 3 (three) Ternary
 - * 2B1Q - 2 (two) Binary 1 (one) Quaternary
- IDSL baseada na interface U da Interface básica RDIS
 - Um único canal de 144Kbit/s, simétrico

HDSL

High data rate Digital Subscriber Line

- Objectivo: substituição do E1/T1
 - T1 - Dois pares
 - E1 - Três Pares
- Menos largura de banda
- Transmissão em modo simétrico de 1544Kbit/s ou 2048Kbit/s em linhas até 4.5 Km.
- O maior número de pares representa um uso ineficiente da infra-estrutura e torna-o candidato a ser substituído pelo SDSL

ADSL

- Vocacionado para o mercado residencial
- Pode atingir 8Mbit/seg no sentido descendente (download), 1Mbit/seg no ascendente (upload).
- Baseado no par de cobre telefónico convencional
- Variantes
 - UDSL /ADSL Lite / G.Lite
Largura de banda de 1.5Mbit/s - 500Kbit/s
Não requer a instalação do splitter
 - ADSL2 - Largura de banda de 1.1Mhz, 12Mbit/seg (d)
 - ADSL2+ - Largura de banda de 2.2Mhz, 24Mbit/s (d)

SHDSL / SDSL

Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line

- Evolução do HDSL
- Usa apenas um par de cobre para implementar um canal T1 ou E1
- Prevê a negociação inicial do tipo de serviço e ritmo de transmissão
Suporte entre 192Kbit/s e 2360Kbit/seg (simétricos)
- Distância até 3Km
- Apesar de ritmos mais baixos que o ADSL/downstream, tem a vantagem de permitir ritmos simétricos num único par.

VDSL

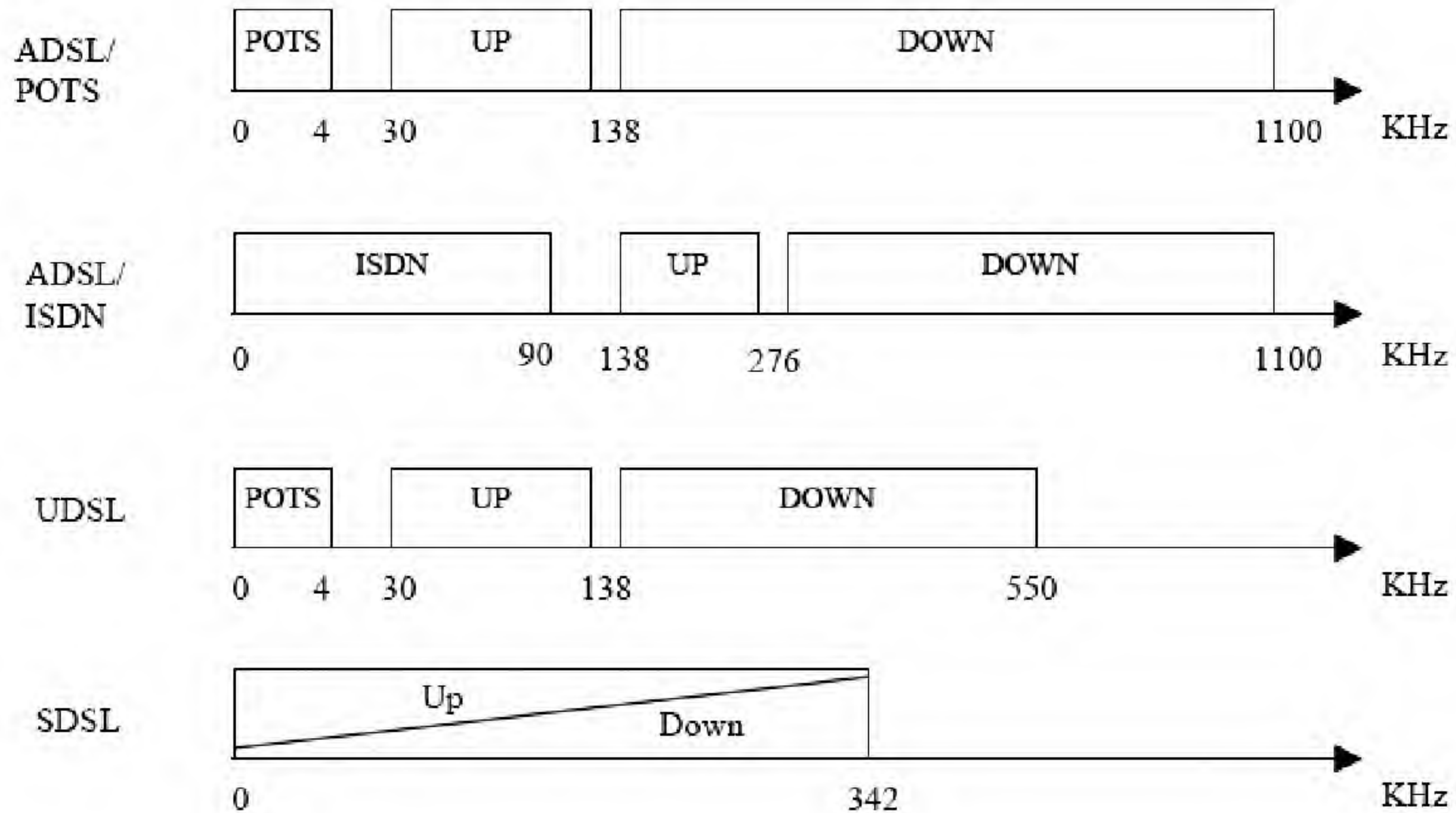
Very High Data Rate Digital Subscriber Line

- 52Mbit/s (down), 2Mbits (up)
- Distâncias até 300m
- Preserva POTS
- Variante: VDSL2
 - 100Mbit/s (down), 50Mbit/s (up)
 - Aplicável em sistemas FTTB, FTTC (fiber to the building, fiber to the cabinet), em que o sinal é distribuído em fibra até à proximidade do cliente final.

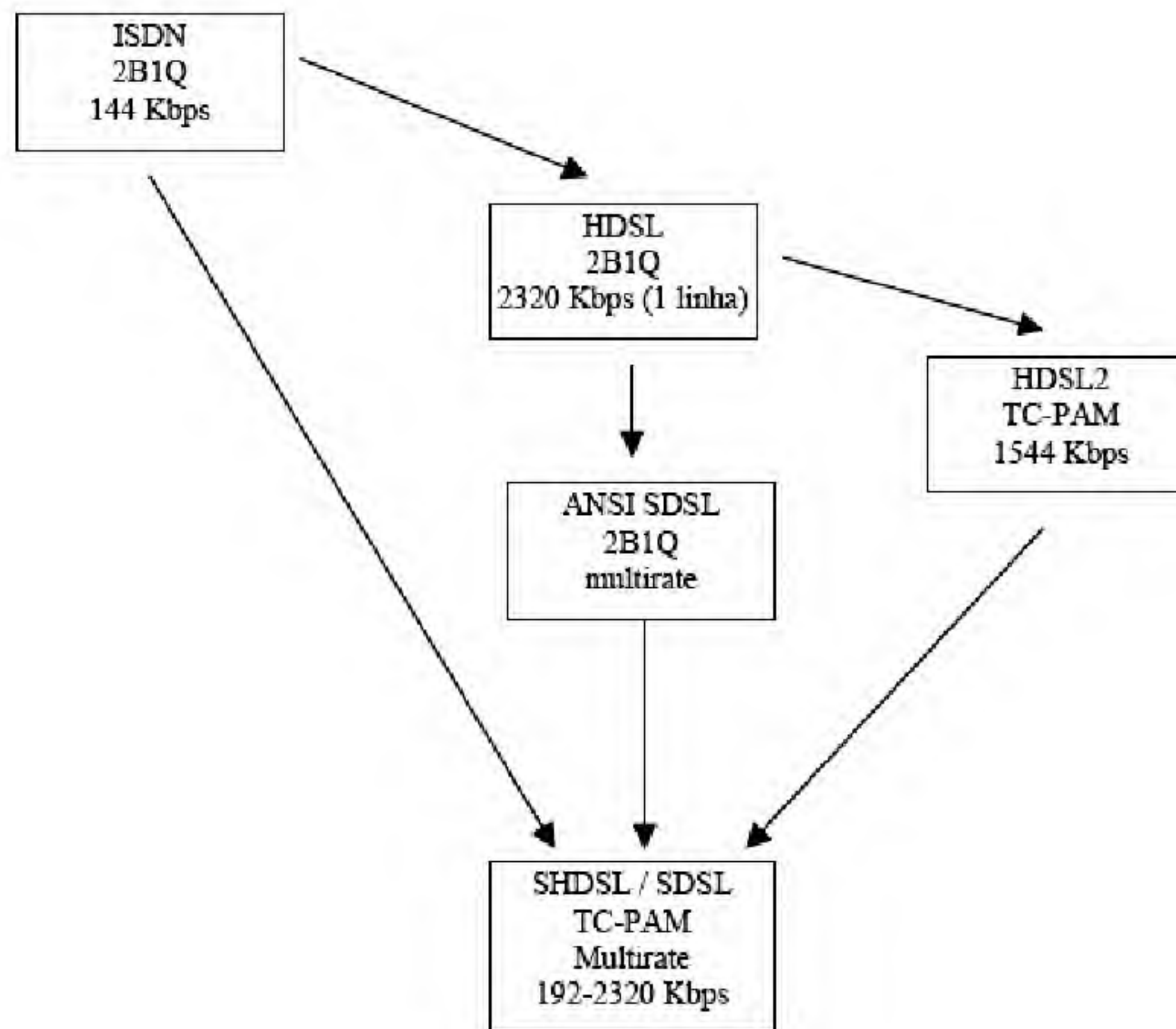
Resumo

xDSL	Ritmo	Nota
IDSL	144Kbit/s, simétrico	Interface U da interface básica RDIS
ADSL UDSL/ADSL Lite ADSL2 ADSL2+	D:1.5 a 8Mbit/s, U: 16 a 640Kbit/s D:1.5Mbit/s U: 500Kbit/s 12 Mbit/seg (down) 24Mbit/seg (down)	Mercado residencial e PMEs não tem splitter
HDSL	ETSI: 2048Mbit/s EUA: 1544Mbit/s	Canal simétrico full duplex, em 2 ou 3 pares.
SHDLS/SDLS	192Kbit/s a 2.3Mbit/s	simétrico
VDSL VDSL2	Max 52Mbit/s Max 100Mbits/s	Curta distância

Utilização do espectro de algumas tecnologias DSL



Evolução das tecnologias DSL simétricas



HDSL

High Data Rate Digital Subscriber Line

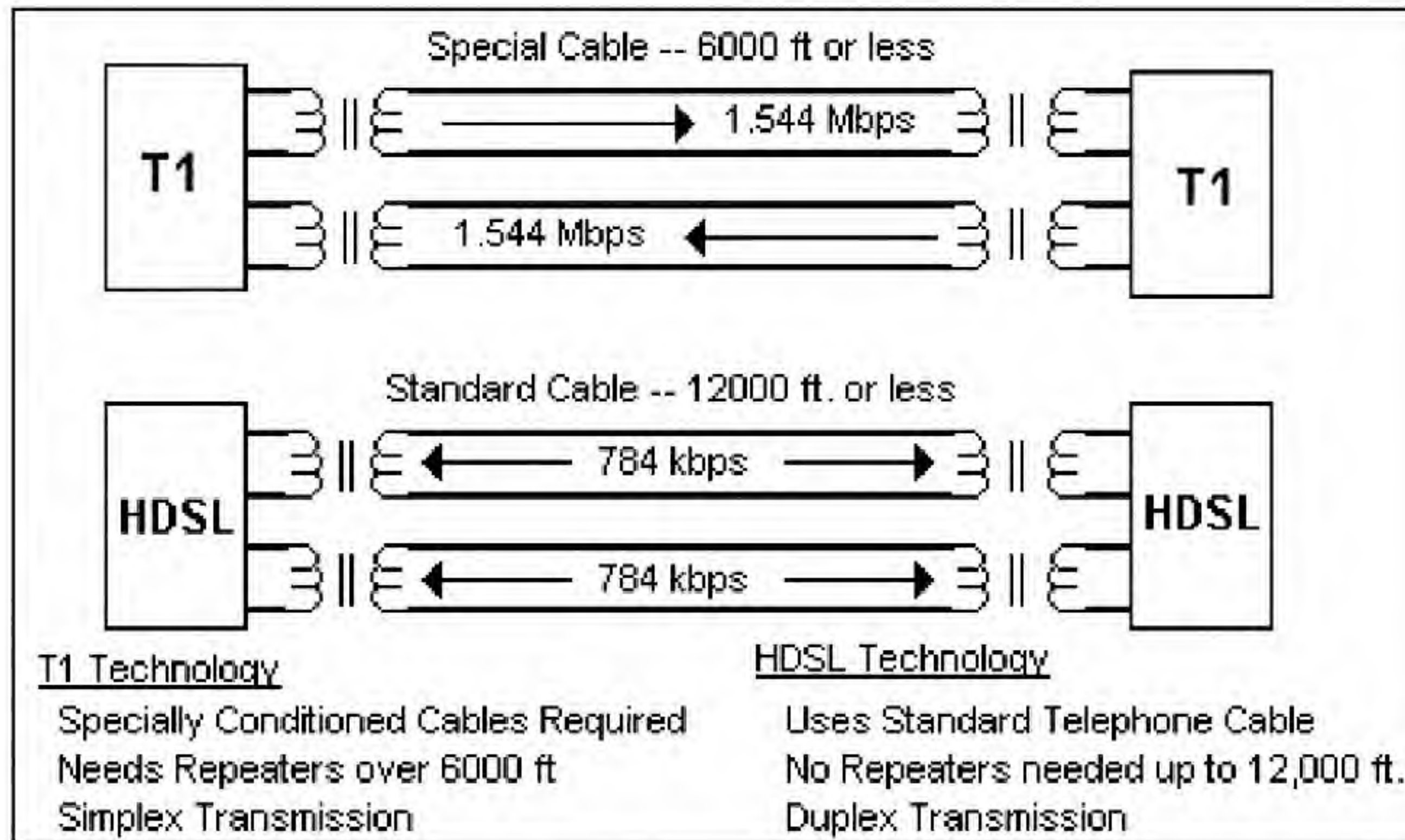
Recomendação ITU-T G991.1

Largura de banda muito reduzido devido a técnicas de modulação mais avançadas (80 a 240KHz em vez de 1.5Mhz)

Origem: Início da década de 90

- Desenvolvida pelo Comité ANSI T1
 - Ritmo de 1544Kbit/s simétricos (suporte interface T1)
 - Usada sobretudo nos USA e Canadá
 - 784Kbit/s num único par
 - 1544Kbit/s em dois pares
- Adaptada na Europa pelo ETSI (ETR 152)
 - Ritmo de 2Mbits (suporte de interface E1)
 - Geralmente usada em dois pares (2x1168Kbit/s)
 - Variantes em um par ou três pares (1 a 784Kbit/s, 3 a 2320Kbit/s)
 - Permite utilização parcial em caso de perda de um par

HDSL vs T1



Codificação HDSL

- PAM (Pulse Amplitude Modulation), 2B1Q
 - 2 Binary, 1 - Quaternary
- CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)
 - Variante de QAM, com supressão de portadora
 - Actualmente, geralmente substituída pela Discrete MultiTone Modulation (DMT)

Codificação 2B1Q

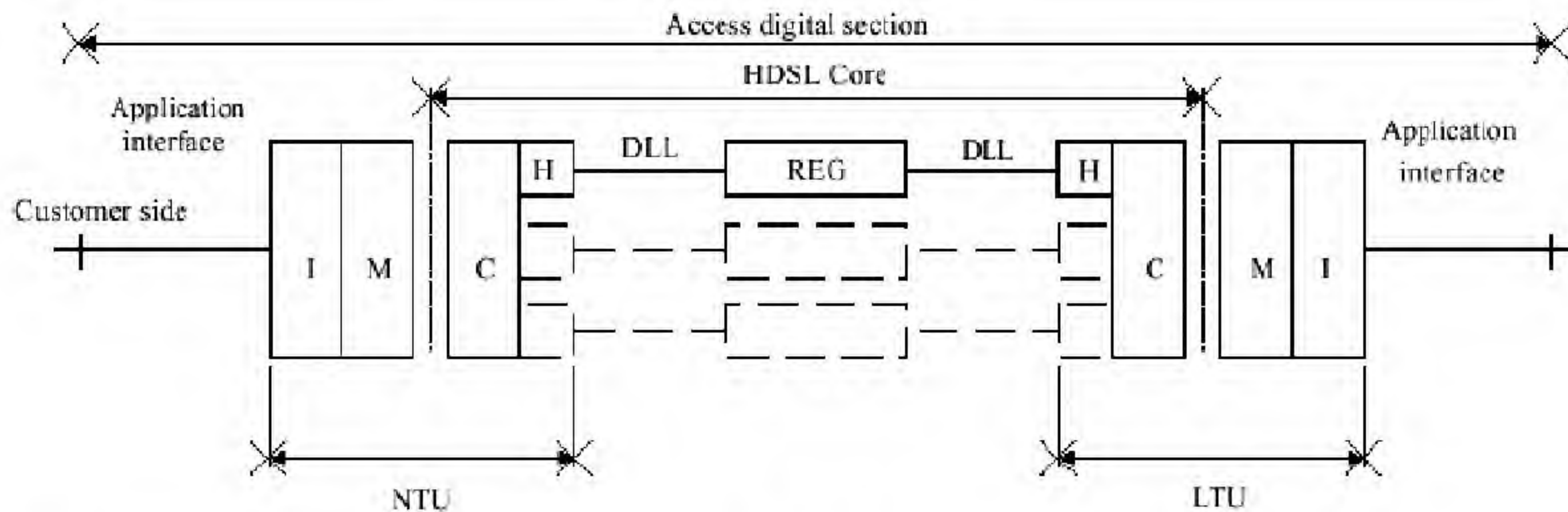
- 2B1Q - 2 Binary, one Quaternary
- Cada conjunto de dois bits é codificado com um nível diferente

1o bit	2o bit	Símb. Quat	Nível (V)
1	0	+3	+2.5V
1	1	+1	+0.8V
0	1	-1	-0.8V
0	0	-3	-3.0V

Nota: Baud-rate - Taxa de símbolos / segundo

Qual a taxa de símbolos (baud-rate de uma codificação 2B1Q ?

Diagrama funcional



C - Common circuitry

I - Interface

REG - Regenerator

NTU - Network Termination Unit

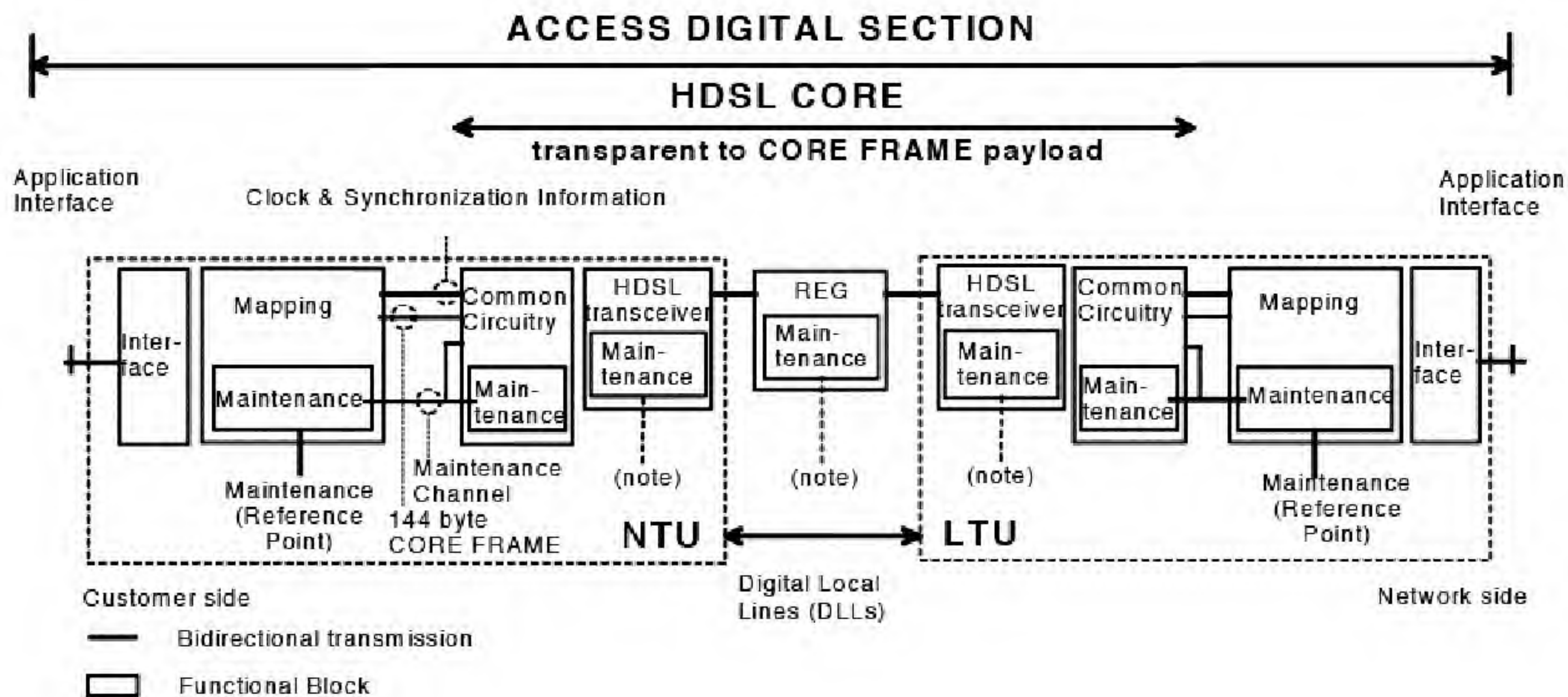
H - HDSL transceiver

M - Mapping

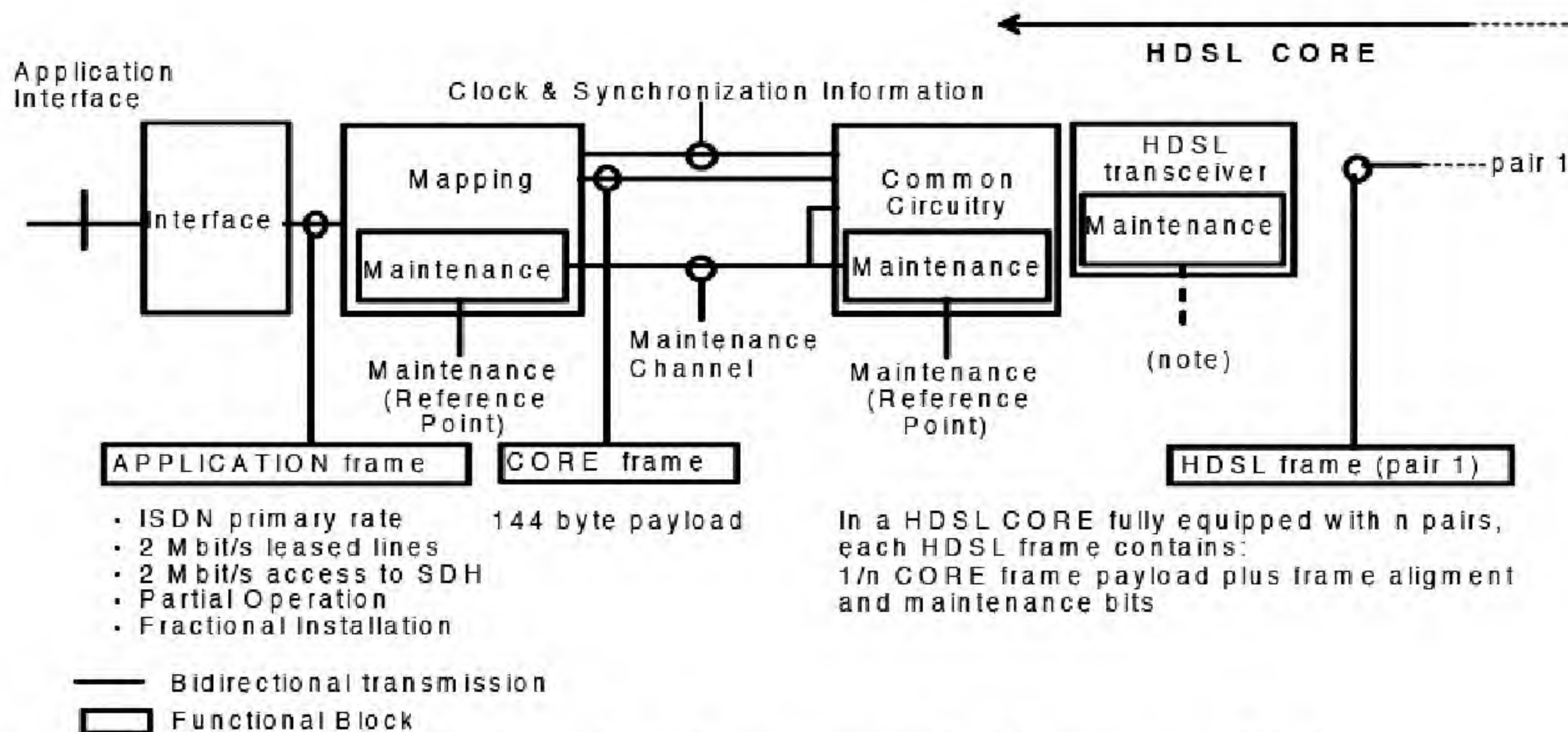
DLL - Digital Local Line

LTU - Line Termination Unit

Detalhe



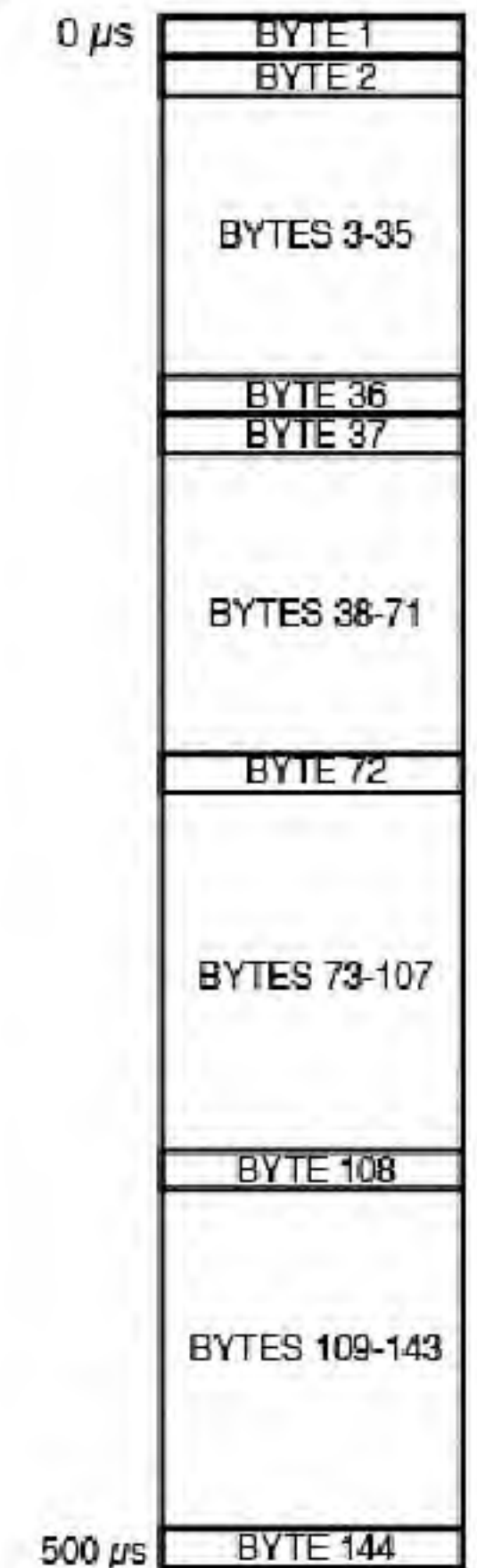
Transmissão



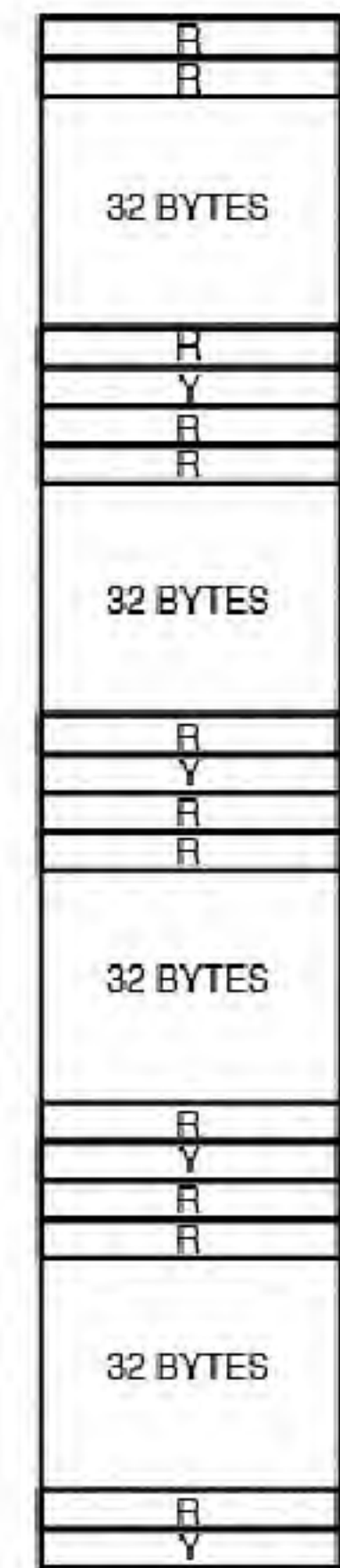
Nota: o sistema pode incluir 1, 2 ou 3 conjuntos de Transceiver/Linha

Tramas HDSL *core*

O formato específico das tramas *core* depende da aplicação



a)
Byte # of Core Frame



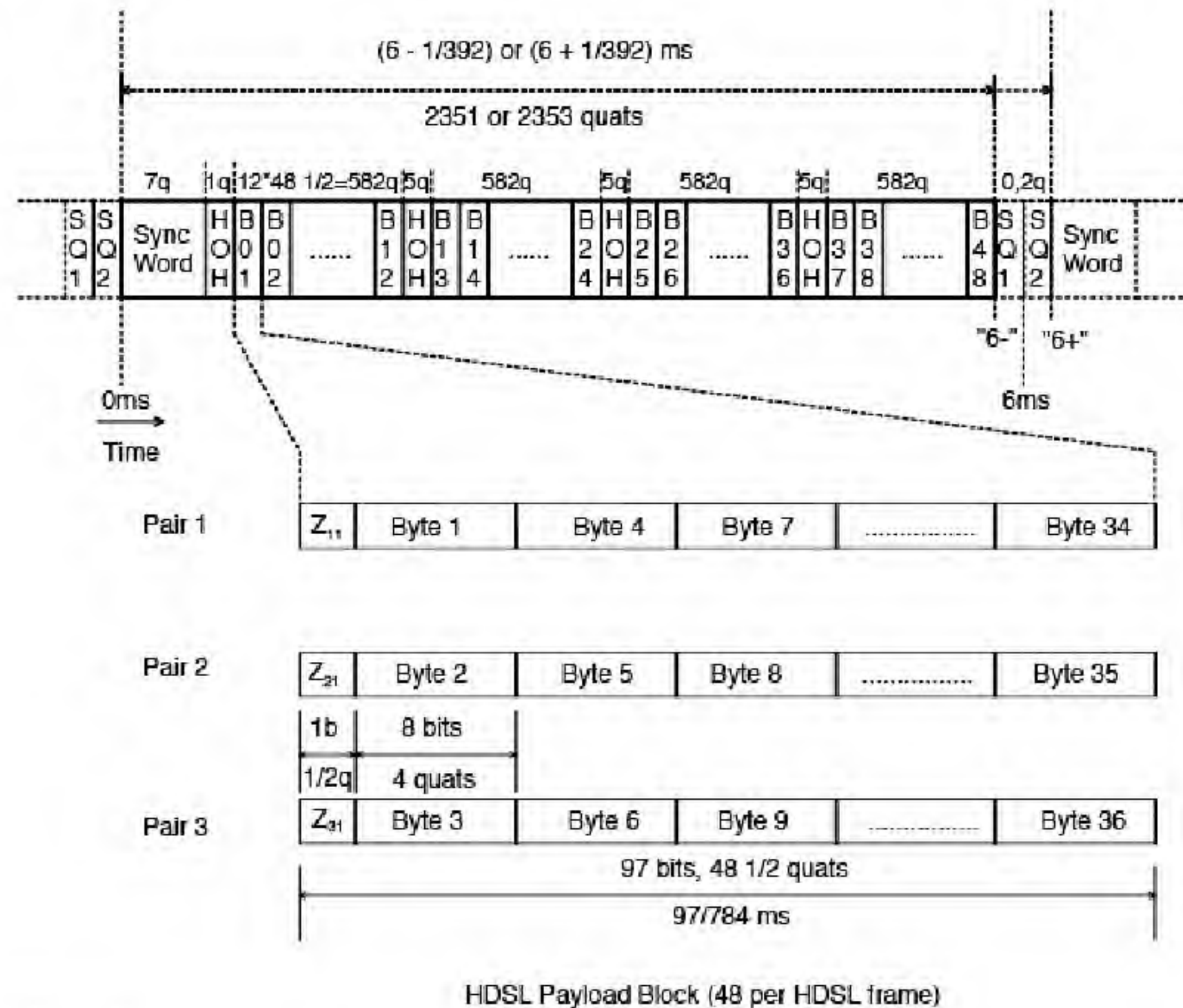
b)
Asynchronous mapping
R,Y = Fixed Stuffing

Cada trama transporta 144 bytes

Ritmo de transmissão

- Tramas *core*
 - 144 Bytes
 - $144 \times 8 = 1152$ bits
 - $500 \mu s$
 - Ritmo = $1152 / 500 \mu s = 2304 \text{ kbit/s}$

Tramas HDSL (3 pares)



B01 a B048 - Payload

HOH - Overhead

Sync word (double Barker) +3, +3, +3, -3, -3, +3, -3

SQ1, SQ2 Stuff

Tramas HDSL - Ritmo

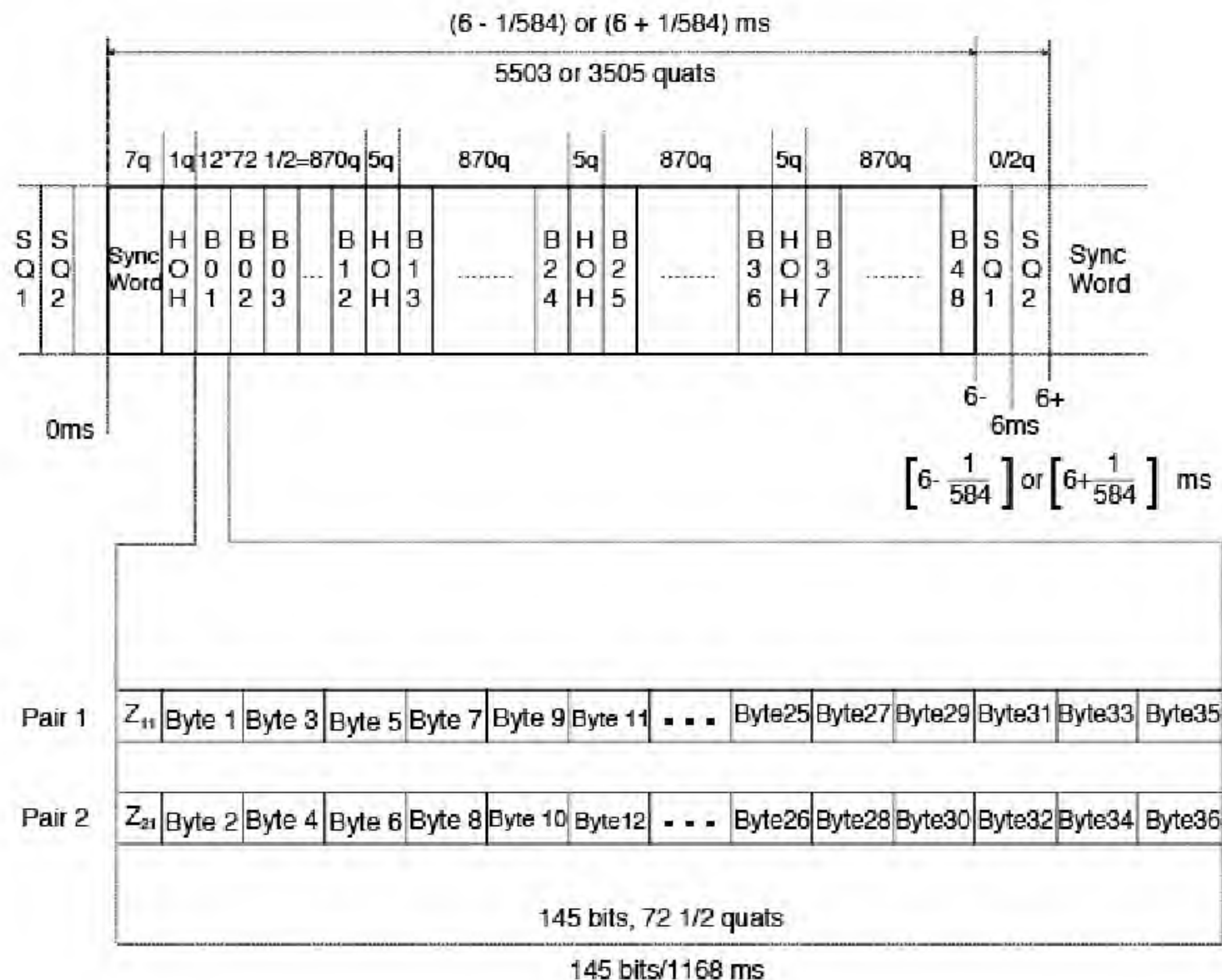
- Duração 6ms

HDSL	Kbit/s	Simb/trama	Bits/trama
1 par	2320	6960	13920
2 pares	1168	3504	7008
3 pares	784	2352	4704

Campos da trama HDSL (3 pares)

Time	Frame Bit #	HDS Bit #	Abbreviated Name	Full Name	Notes
0 ms	1-14	1-14	SW 1-14	Sync word	Double Barker Code
	15	15	losd	loss of input signal at the far end application interface	
	16	16	febe	far end block error	
	17-1 180	-----	B01-B12	Payload block 1-12	HDSL payload including Z_{m1} - Z_{m12}
	1 181	17	ecc01	ecc address	
	1 182	18	ecc02	ecc address	
	1 183	19	ecc03	ecc data/opcode	
	1 184	20	ecc04	ecc Odd/Even Byte	
	1 185	21	crc1	cyclic redundancy check	CRC-8
	1 186	22	crc2	cyclic redundancy check	CRC-8
	1 187	23	ps1	NTU power status bit 1	NTU \longleftrightarrow LTU only
	1 188	24	ps2	NTU power status bit 2	NTU \longleftrightarrow LTU only
	1 189	25	bpv	bipolar violation	
	1 190	26	ecc05	ecc unspecified	
	1 191-2 364	-----	B13-B24	Payload blocks 13-24	HDSL payload including Z_{m13} - Z_{m24}
	2 365	27	ecc06	ecc message bit 1	
	2 366	28	ecc07	ecc message bit 2	
	2 367	29	ecc08	ecc message bit 3	
	2 368	30	ecc09	ecc message bit 4	
	2 369	31	crc3	cyclic redundancy check	CRC-8
	2 380	32	crc4	cyclic redundancy check	CRC-8
	2 381	33	rrp	regenerator present	LTU \leftarrow REG \rightarrow NTU
	2 382	34	rba	regenerator remote block error	LTU \leftarrow REG \rightarrow NTU
	2 383	35	rcbe	regenerator central block error	LTU \leftarrow REG \rightarrow NTU
	2 384	36	raga	regenerator alarm	LTU \leftarrow REG \rightarrow NTU
	2 385-3 538	-----	B25-B36	Payload blocks 25-36	HDSL payload including Z_{m25} - Z_{m36}
	3 539	37	ecc10	ecc message bit 5	
	3 530	38	ecc11	ecc message bit 6	
	3 531	39	ecc12	ecc message bit 7	
	3 532	40	ecc13	ecc message bit 8	
	3 533	41	crc5	cyclic redundancy check	CRC-8
	3 534	42	crc6	cyclic redundancy check	CRC-8
	3 535	43	rta	remote terminal alarm	NTU \rightarrow LTU only
	3 536	44	indxlndr	ready to receive	indc=LTU \rightarrow NTU indh=NTU \rightarrow LTU
	3 537	45	uib	unspecified indicator bit	
	3 538	46	uib	unspecified indicator bit	
6 \pm 1/392 ms	3 539-4 702	-----	B37-B48	Payload blocks 37-48	HDSL payload including Z_{m37} - Z_{m48}
	4 703	47	sq1s	stuff quat 1 sign	Frame stuffing
6 ms nominal	4 704	48	sq1m	stuff quat 1 magnitude	Frame stuffing
	4 705	49	sq2s	stuff quat 2 sign	Frame stuffing
6 \pm 1/392 ms	4 706	50	sq2m	stuff quat 2 magnitude	Frame stuffing

Trama HDLSL (2 pares)



Trama HDSL (1 par)

\dot{L}

Ritmos e alcances

Ritmos de transmissão e overhead

HDSL	Informação		Cabeçalho	Overhead
	Bytes	Kbit/s	Bytes	
3 pares	3x576	3x768	3x12	2,70%
2 pares	2x864	2x1152	2x12	1,82%
1 par	1728	2304	12	0,92%

Alcances em HDSL sobre 2 pares, sem interferências

Calibre do cabo	0,4mm	0,5mm	0,6mm	0,9mm
Alcance	3,5-4,0Km	4,0-5,0Km	5,0-6,0Km	8,0-10,0Km

Aplicações HDSL

- Dado o ritmo de transmissão suportado, todas as aplicações baseadas anteriormente em LTU E1 são suportadas em HDSL.
- As aplicações incluem:
 - Servidores
 - Interligação de redes privadas
 - Interligação de redes privadas a centrais públicas
 - Interligação de estações de base de redes celulares (GSM,...)
- Limitações (como em todas as tecnologias xDSL): não aplicável em linhas de cobre com compensação de indutiva.

SHDLS

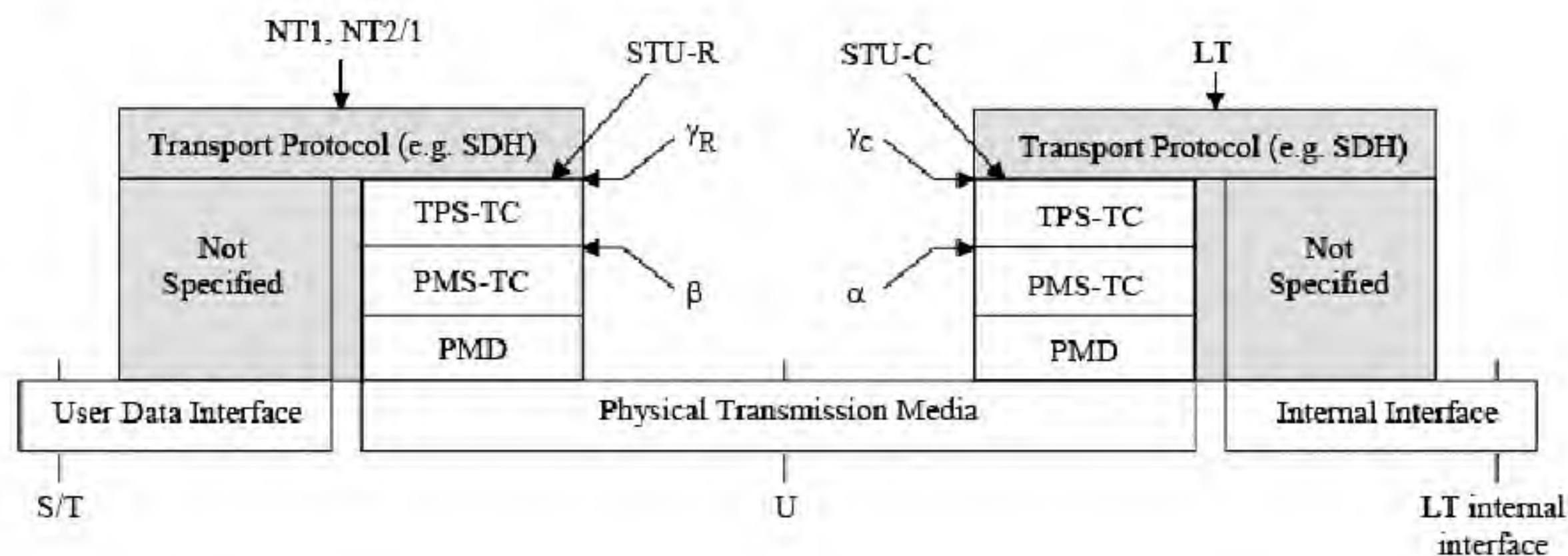
- SHDSL - Single Pair High Speed Digital Subscriber Line - ITU-T, recomendação G.991.2
 - AKA como G.SHDSL (Cisco) - Symmetrical High Data Rate Digital Subscriber Loop.
 - Normalizado em Fevereiro de 2001
 - Características
- Ritmo de transmissão ajustável em múltiplos de 8kbit/s (192kbit/s-2360kbit/s)
- Transmissão síncrona ou plesiócrons (plesiosíncrona).
- Transmissão simétrica, suporte num único par de cobre.
- Ritmos de 2Mbits/s (2,4km) a 384kbit/s (4,5km).
- Prevista a utilização de dois pares e de regeneradores.

SHDSL: protocolos

TPS-TC - Transmission Protocol Specific Transmission Convergence

PMS-TC - Physical Media Specific Transmission Convergence

PMD - Physical Media Dependent



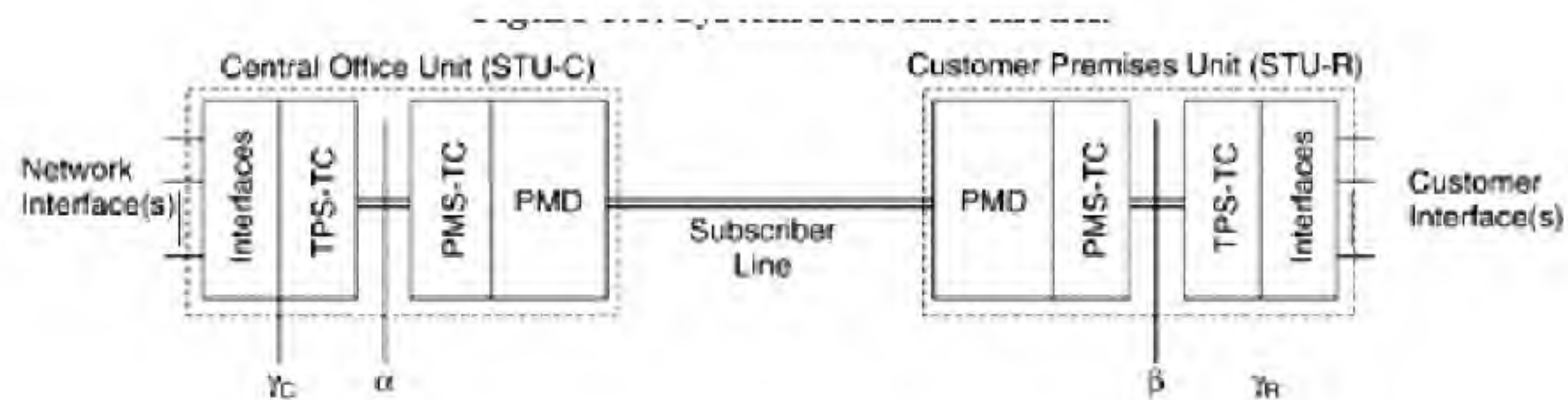
STU - SHDSL Transmit Unit

STR - SHDSL Receive Unit

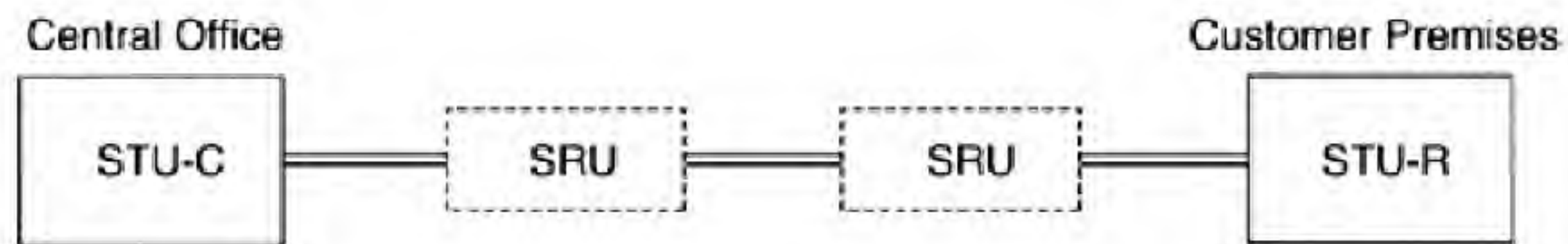
camadas

- PMD - Physical Medium Dependent Layer
 - Modulação e desmodulação
 - Sincronização
 - Codificação e decodificação
 - Equalização
 - Inicialização e treino
- PMS-TC - Physical Medium Specific Transmission Convergence Layer
 - Trama, e sincronização a nível da trama
- TPS-TC - Transmission Protocol Specific Transmission Convergence Layer
 - Dependente da aplicação e configuração

SHDSL: Ligação a 1 par

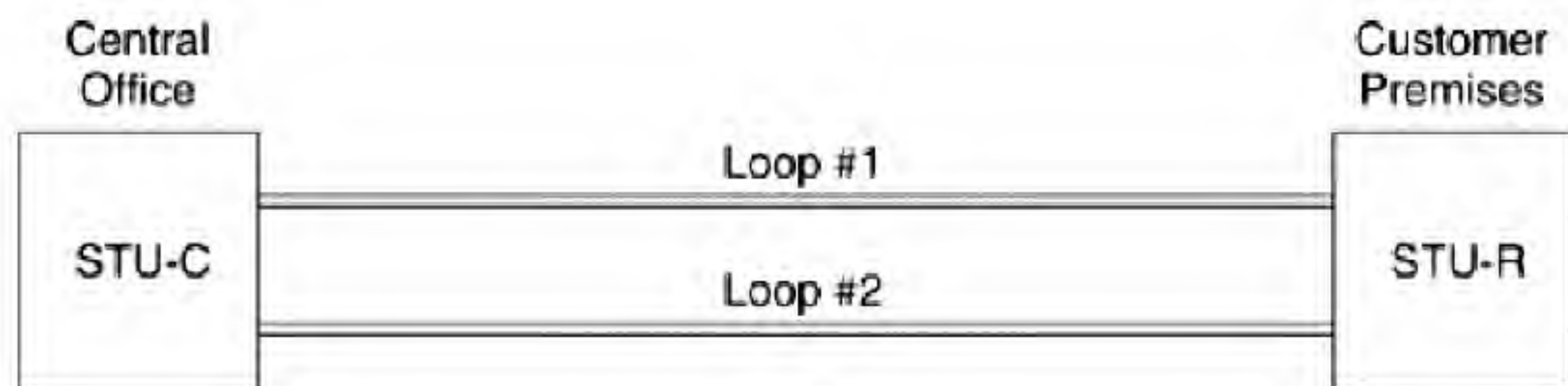


SHDSL: Ligação com regenerador



SRU - SHDSL Regeneration Unit

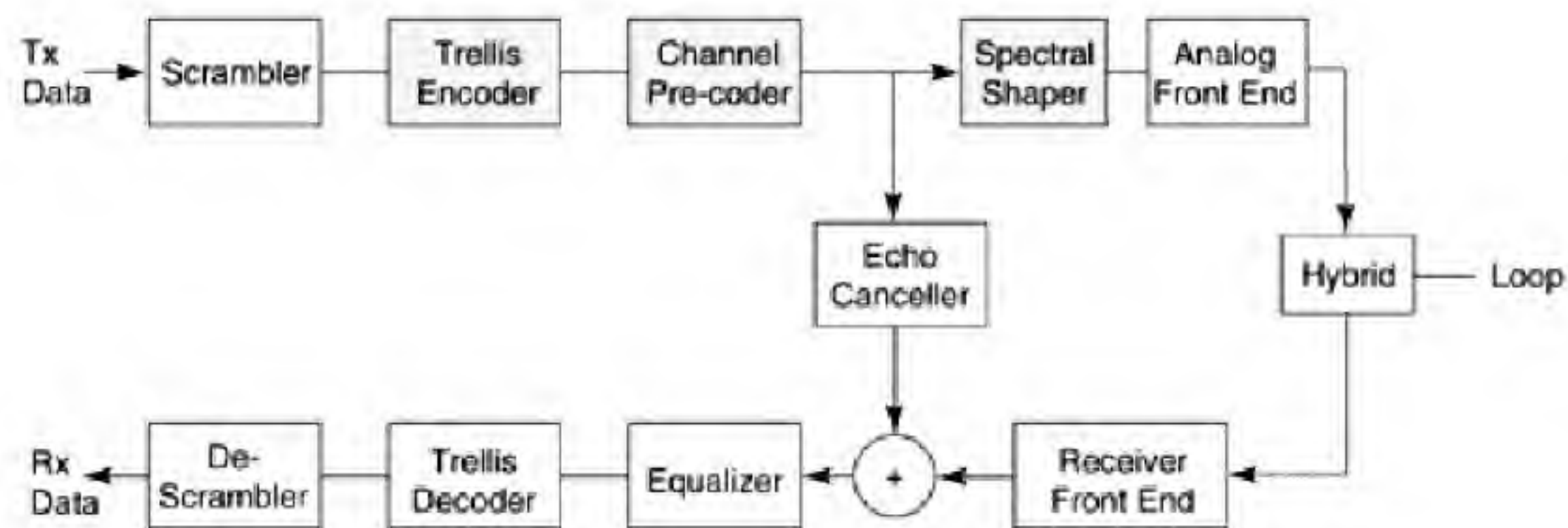
SHDSL: Ligação a 2 pares



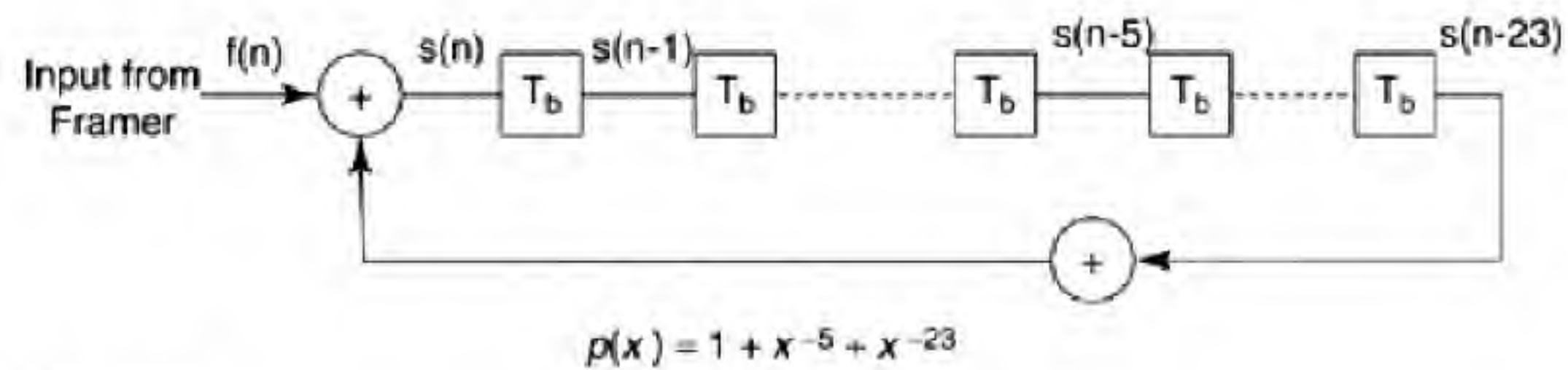
Camada PMD - Physical Medium Dependent Layer

Ritmo=192Kb/s a 2312kb/s em incrementos de 8Kb/s.

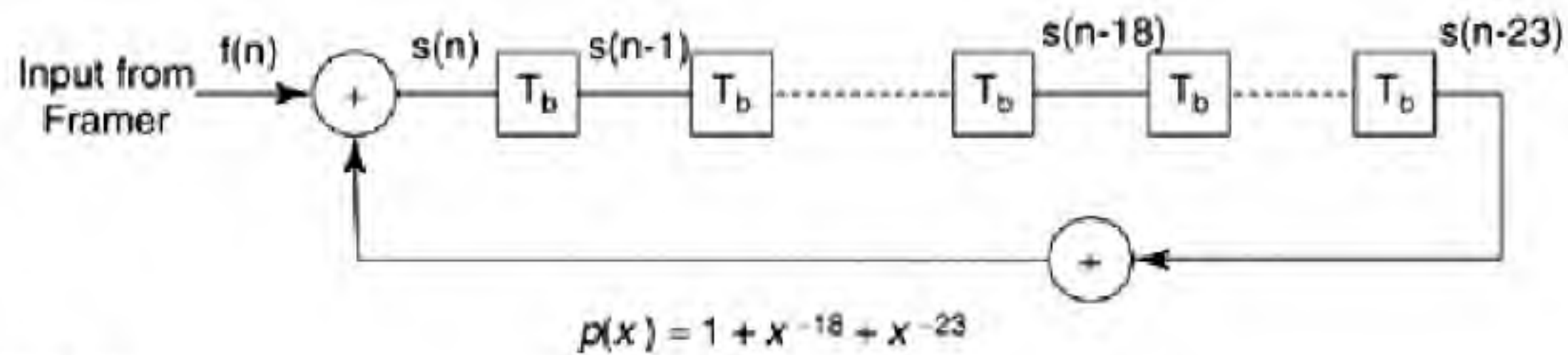
SHDSL: Diagrama de recepção/emissão



SHDSL: scramblers

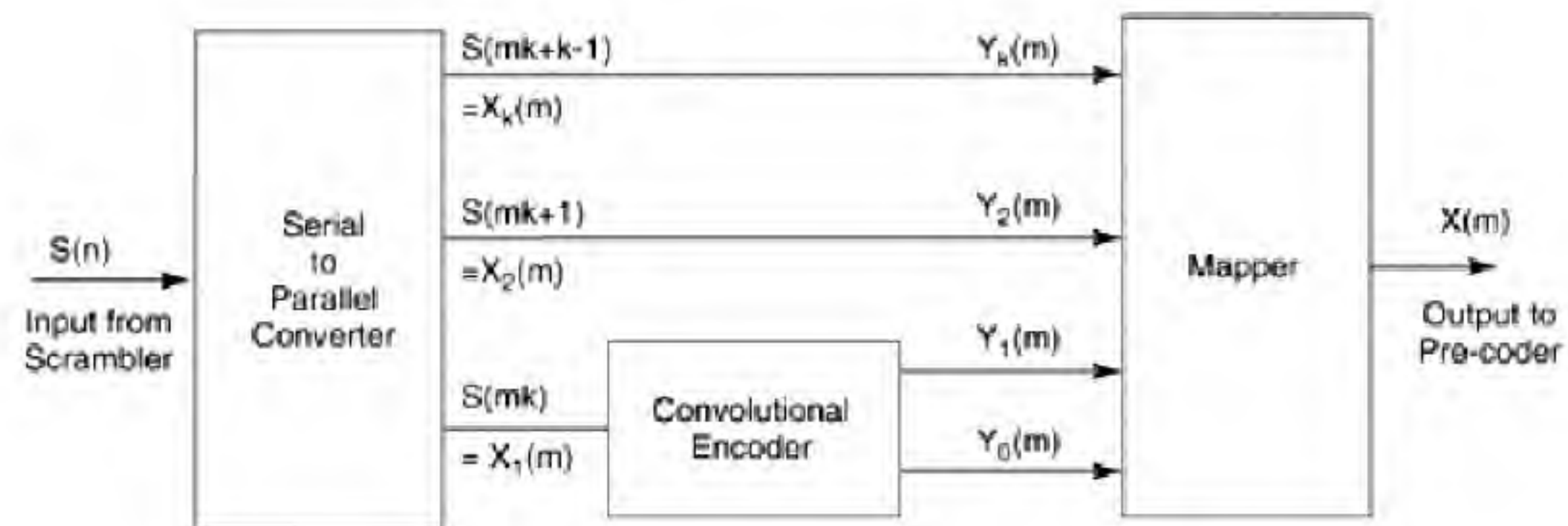


Scrambler *downstream*



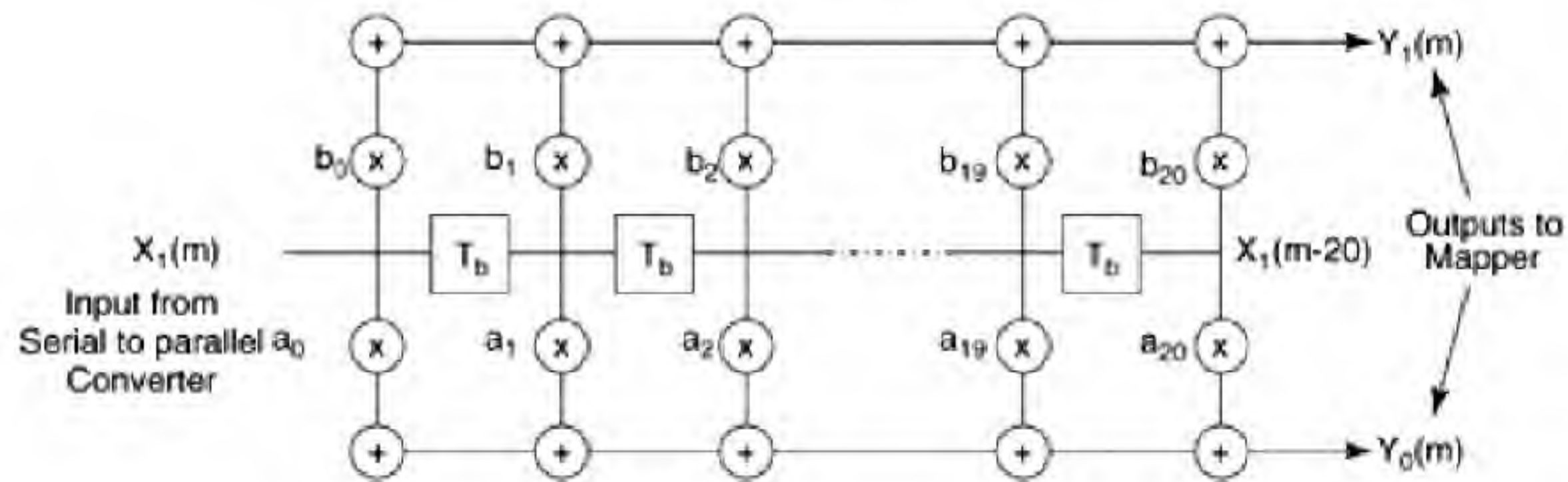
Scrambler *upstream*

SHDSL: Codificação Trellis



SHDSL: Codificador convolucional

$$P_a(x) = a_0 + a_1x^{-1} + a_2x^{-2} + \dots + a_{20}x^{-20}$$

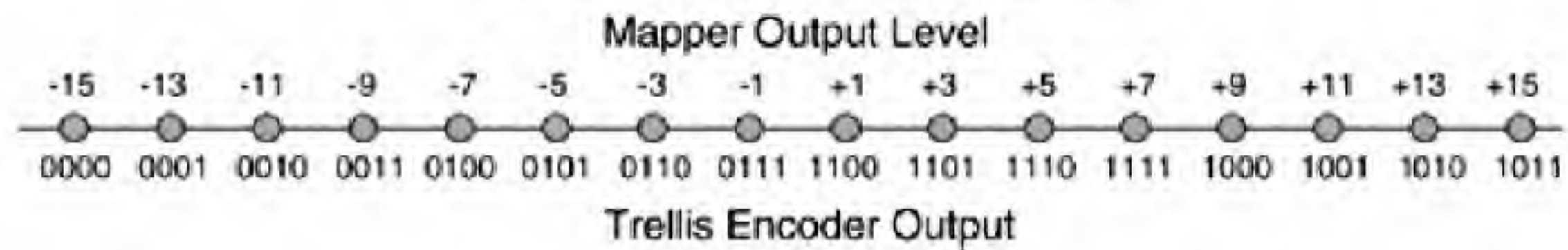


$$P_b(x) = b_0 + b_1x^{-1} + b_2x^{-2} + \dots + b_{20}x^{-20}$$

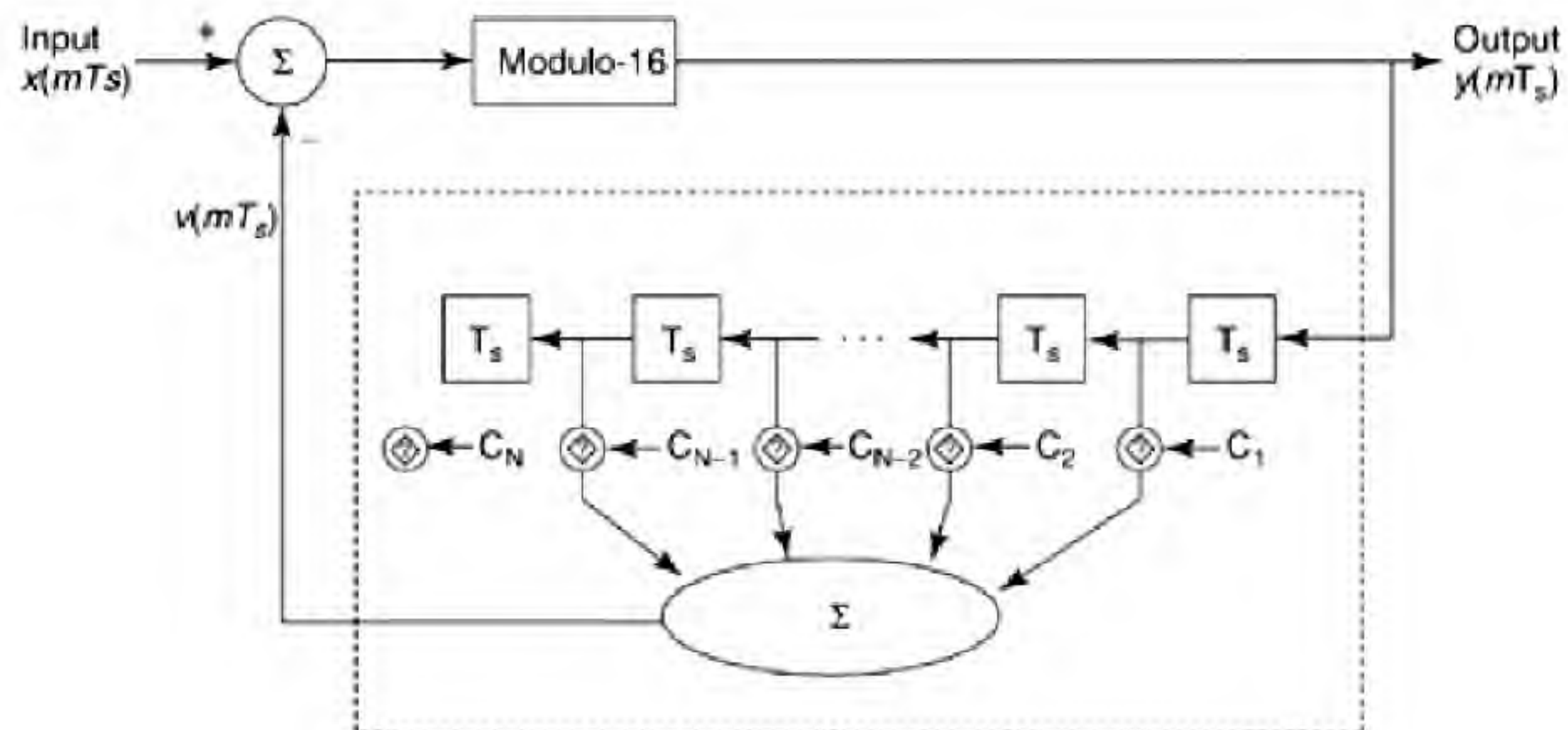
SHDSL: encoder

Mapping Table

Trellis Encoder Output, $Y_3(m) Y_2(m) Y_1(m) Y_0(m)$	Level, $x(m)$
0000	-15/16
0001	-13/16
0010	-11/16
0011	-9/16
0100	-7/16
0101	-5/16
0111	-1/16
1100	1/16
1101	3/16
1110	7/16
1111	9/16
1000	11/16
1010	13/16
1011	15/16



SHDSL: precoder

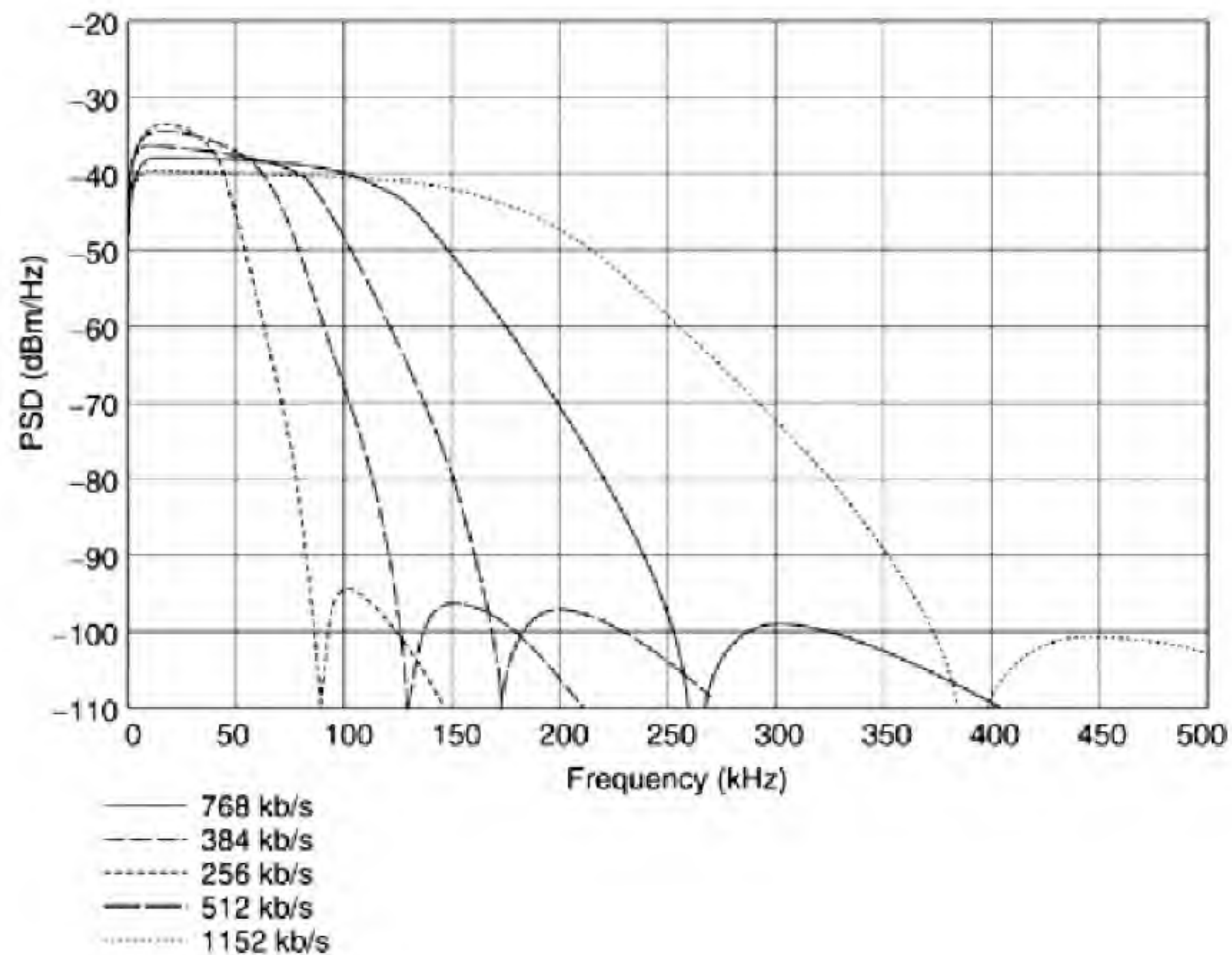


SHDSL: Filtragem

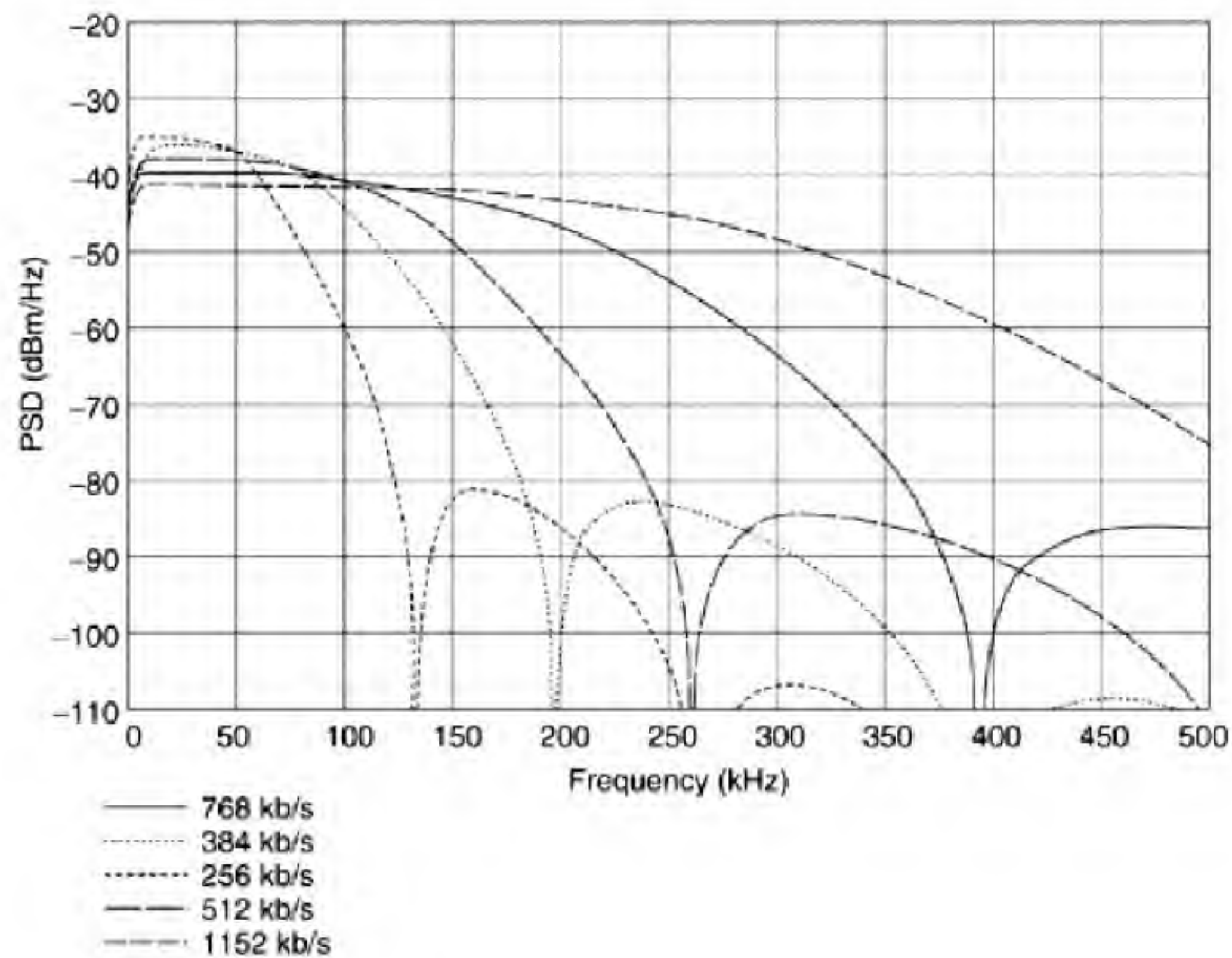
$$PSD_{SHDSL}(f) = \begin{cases} 10^{-\frac{PBO}{10}} \cdot \frac{K_{SHDSL}}{135} \cdot \frac{1}{f_{sym}} \cdot \frac{\left[\sin\left(\frac{\pi f}{N f_{sym}}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{N f_{sym}}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^{2-Order}} \\ \cdot \frac{f^2}{f^2 + f_c^2}, & f < f_{intercept} \\ 0.5683 \cdot 10^{-4} \cdot f^{-3/2}, & f_{intercept} \leq 1.1 \text{MHz} \end{cases}$$

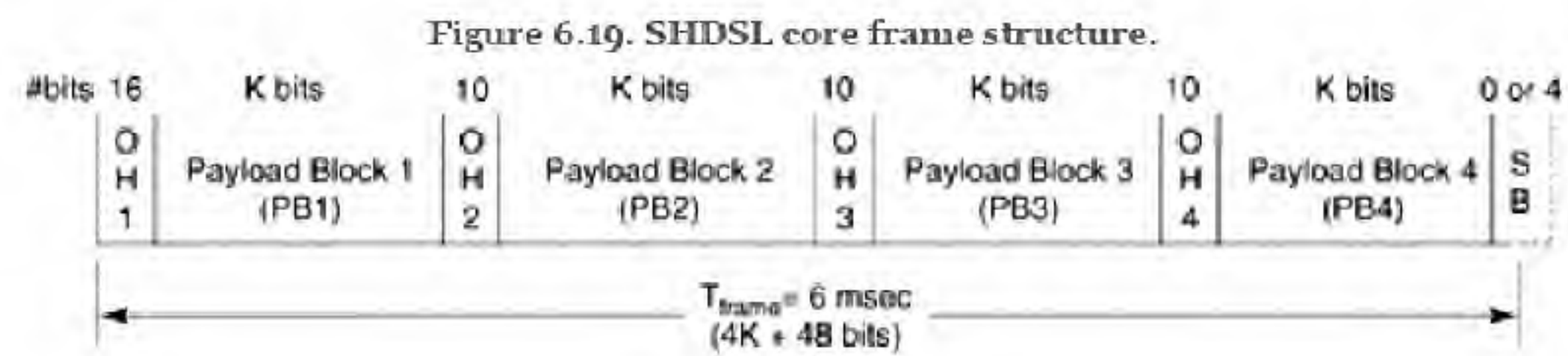
- *PBO* defines the amount of power backoff in dB
- *K_{SHDSL}* is a PSD scaling coefficient
- *f_{sym}* is the symbol rate, which is one third the line bit rate
- *N* is a PSD shaping factor, set equal to 1 for all bit rates
- *f_{3dB}* is the shaping filter 3 dB cutoff frequency
- *Order* is the order of the low pass shaping filter, which is 6 for 16-level TC-PAM
- *f_c* is the cutoff frequency of the high coupling filter
- *f_{intercept}* is the frequency where the two functions in the PSD equation intercept in the frequency range of *f_{sum}*

SHDSL: Filtragem em TCM



SHDSL: Filtragem em 2B1Q



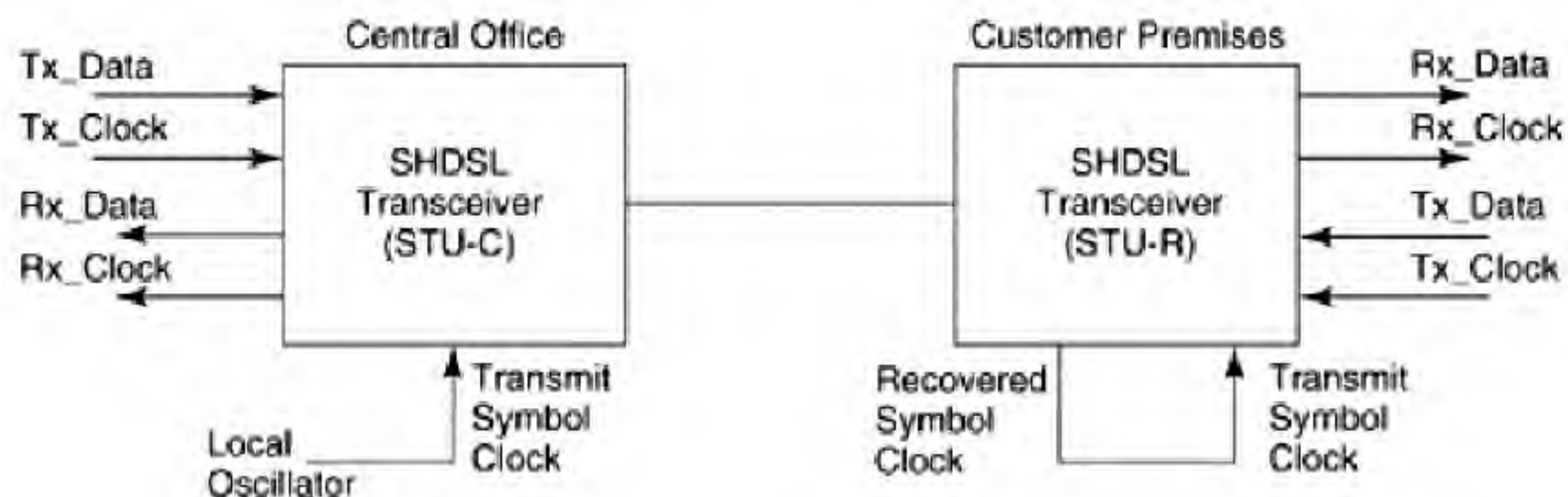


SHDSL: Ritmos de transmissão

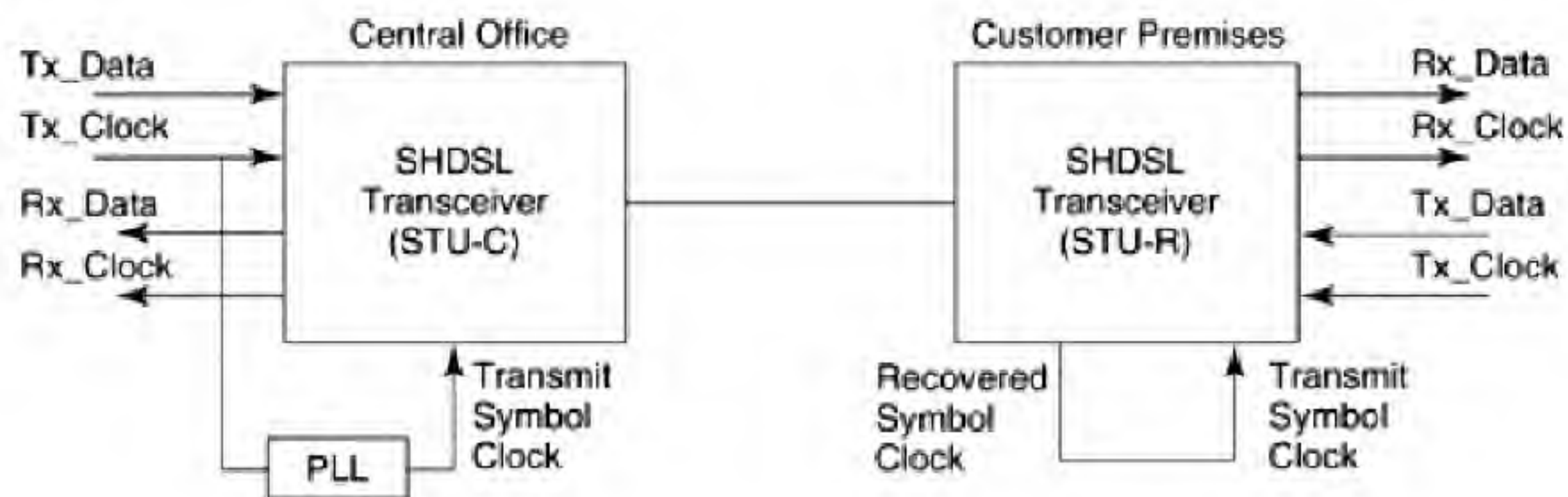
Tabela 4.2 – Ritmos de SHDSL

Tipo de bits	Channel Type	Número de bits numa trama de 6 ms	Débito
Frame bits	Overhead	$48 / 48 \pm 2$	8 kbit/s
Payload bits	B-channel ($n \times 64$ kbit/s) ($n = 3 \dots 36$)	$n \times 48 \times 8$	$n \times 64$ kbit/s
	Z-bits ($i \times 8$ kbit/s) ($i = 0 \dots 7$)	$i \times 48$	$i \times 8$ kbit/s
Número total de bits na trama		$48 \times (1 + i + n \times 8)$	$(n \times 64 + i \times 8 + 8)$ kbit/s

SHDSL: Timing: modo plesiocrono



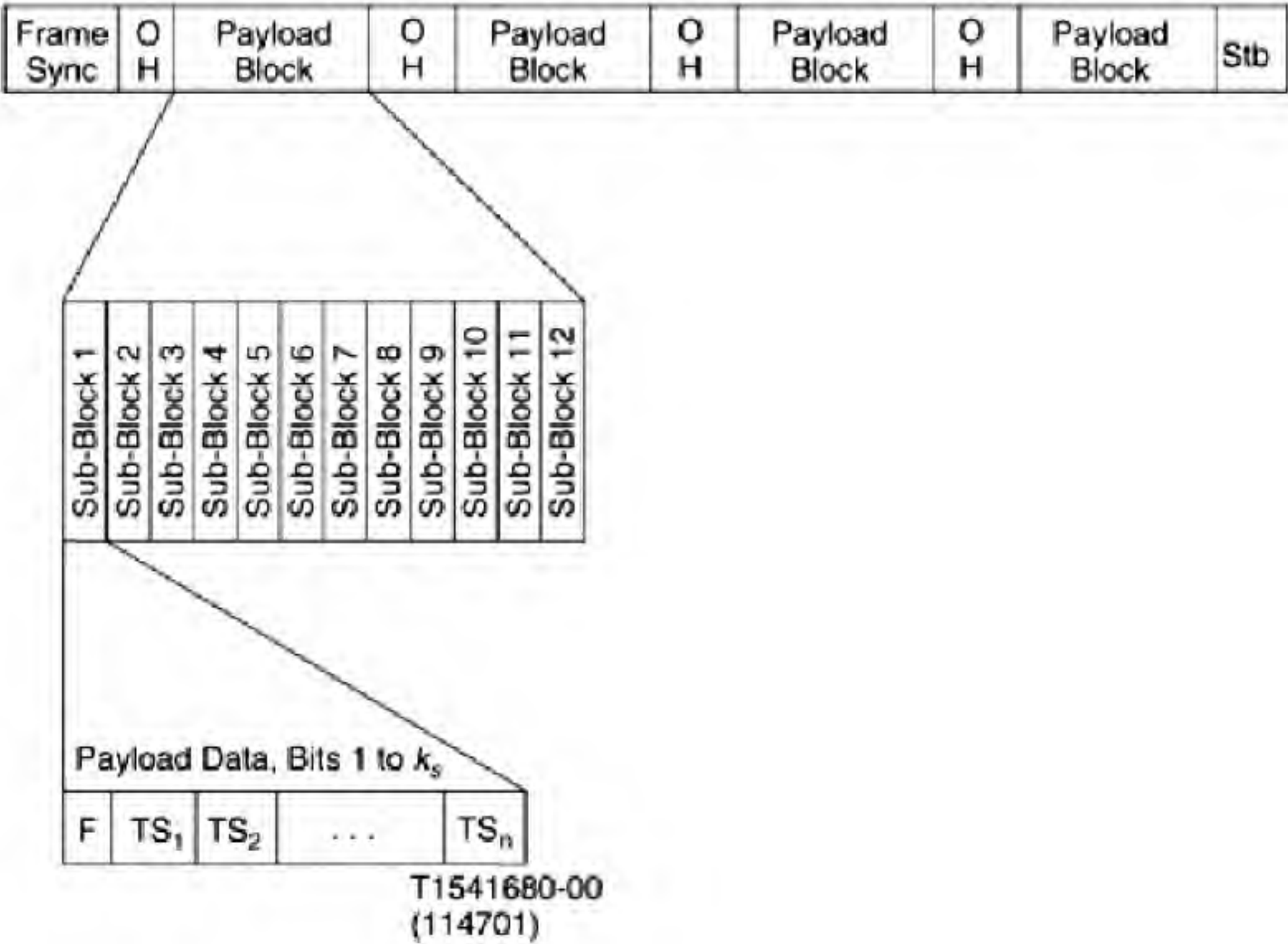
SHDSL: Timing: modo síncrono



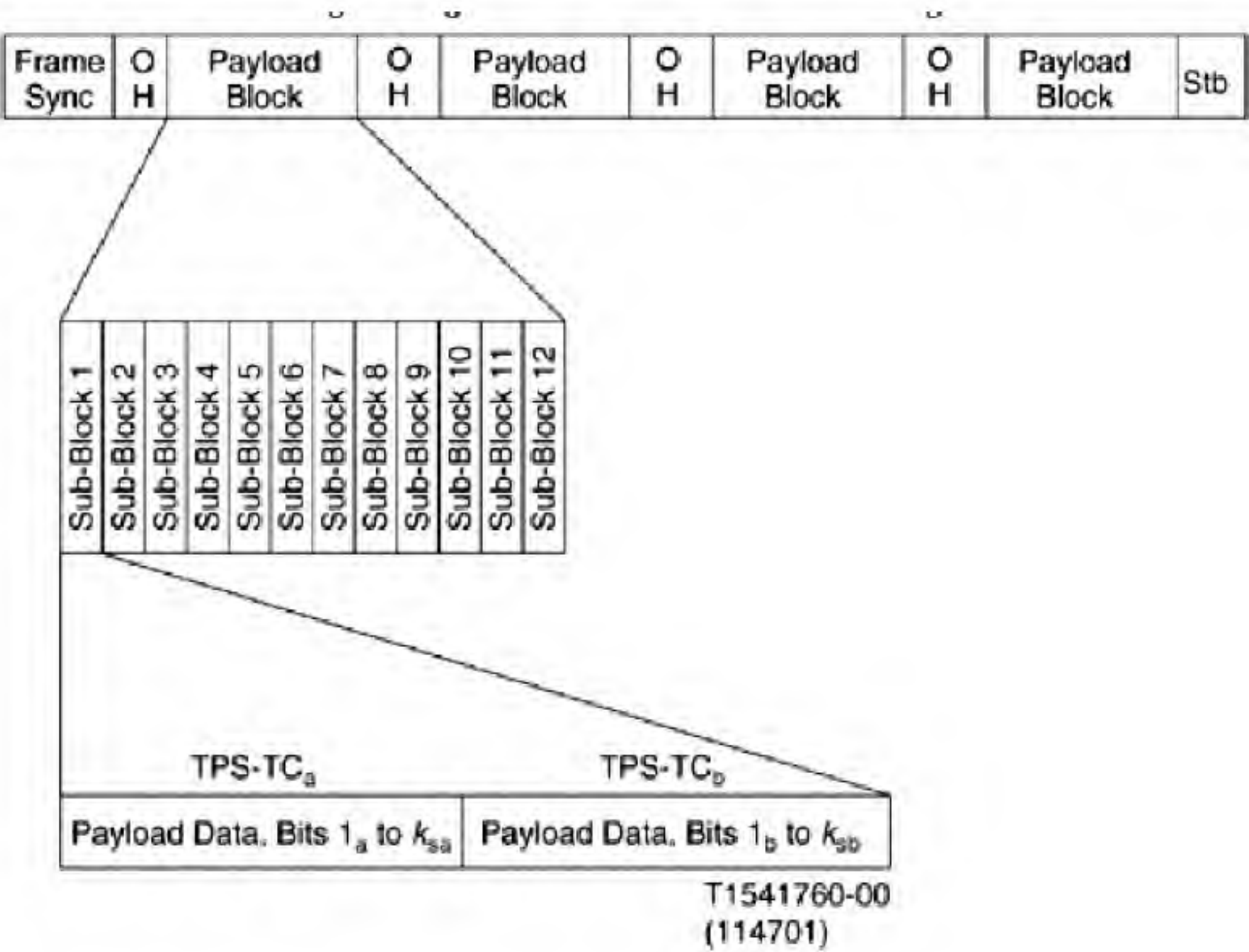
TPS-TC

Camada TPS-TC - Transmission Protocol specific-transmission convergence layer

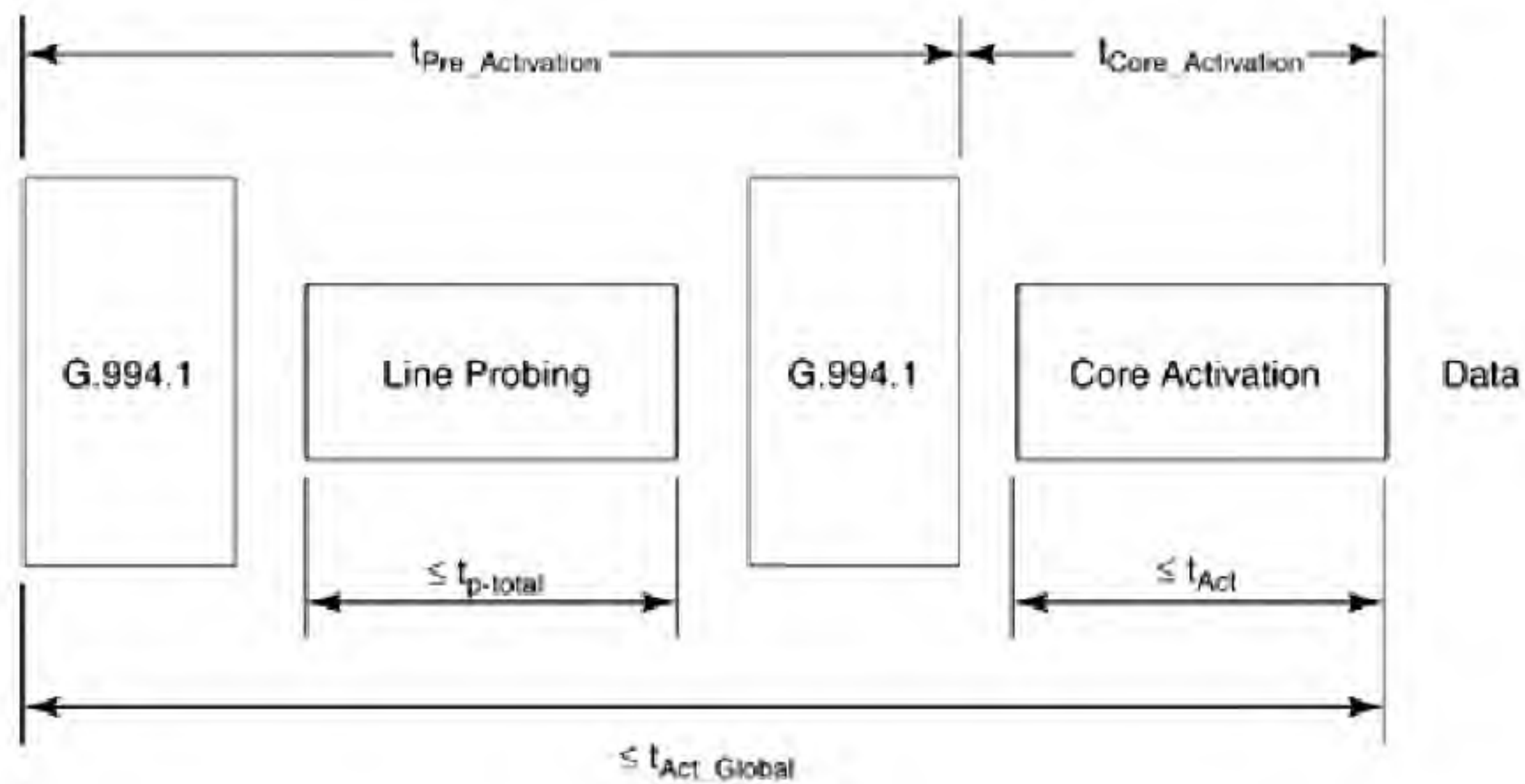
SHDSL: Camada TPS-TC



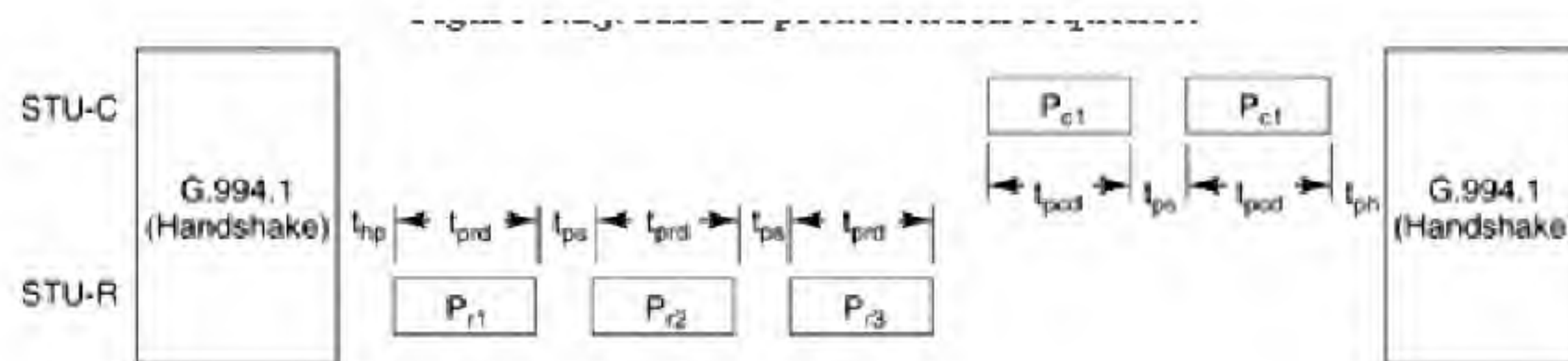
SHDSL: Camada TPS-TC



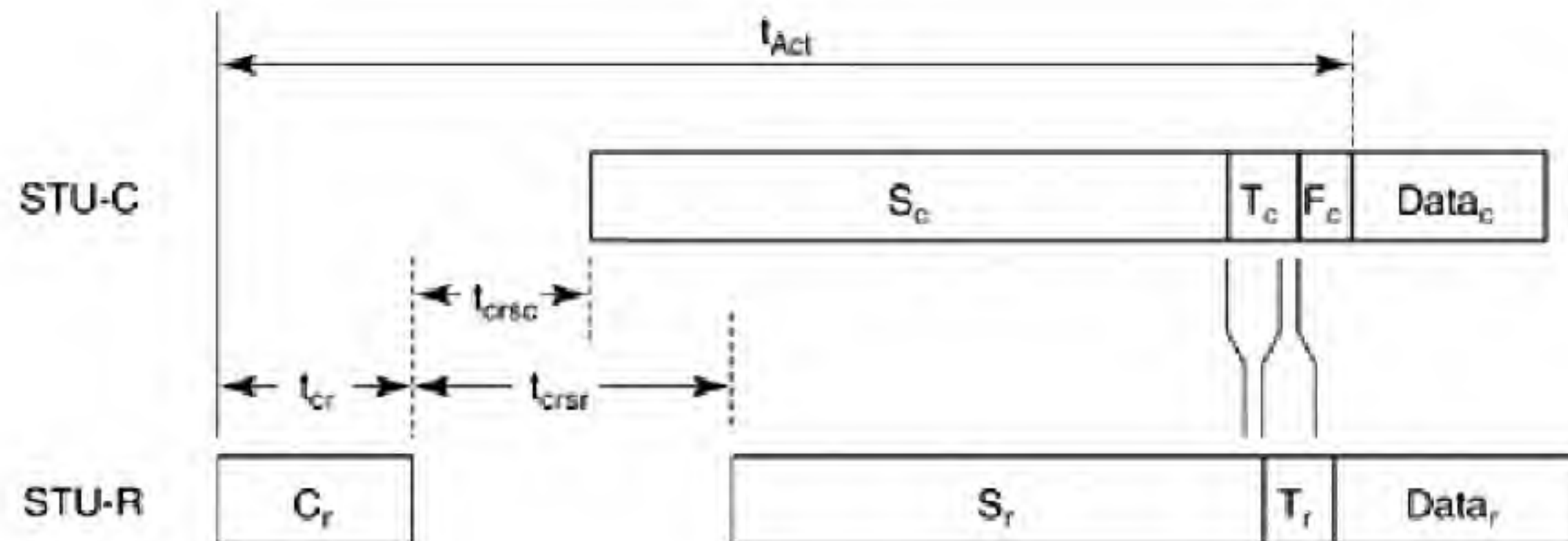
SHDSL: Activação



?



SHDSL: Activação do Core



?